



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL  
CAMPUS CERRO LARGO  
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

**VERÔNICA MIKILYTA URACH DE CASTRO**

**CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA E PARÂMETROS DE QUALIDADE DA  
ÁGUA DA MICROBACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO ITAQUARINCHIM,  
SANTO ÂNGELO/RS**

**CERRO LARGO  
2016**

**VERÔNICA MIKILYTA URACH DE CASTRO**

**CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA E PARÂMETROS DE QUALIDADE DA  
ÁGUA DA MICROBACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO ITAQUARINCHIM,  
SANTO ÂNGELO/RS**

Trabalho apresentado à Universidade Federal da  
Fronteira Sul, como parte das exigências do Curso de  
Graduação em Engenharia Ambiental, para a obtenção  
do título de Engenheiro Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Henrique Borba

Coorientador: Msc. Mateus Gustavo Sausen

**CERRO LARGO - RS**

2016

**DGI/DGCI - Divisão de Gestão de Conhecimento e Inovação**

Castro, Verônica Mikilyta Urach de  
Caracterização Fisiográfica e Parâmetros de Qualidade  
da Água da Microbacia Hidrográfica do Arroio  
Itaquarinchim, Santo Ângelo/RS/ Verônica Mikilyta Urach  
de Castro. -- 2016.  
41 f.

Orientador: Fernando Henrique Borba.

Co-orientador: Mateus Gustavo Sausen.

Trabalho de conclusão de curso (graduação) -  
Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de  
Engenharia Ambiental , Cerro Largo, RS, 2016.

1. Arroio Itaquarinchim. 2. Qualidade da Água. 3.  
Microbacia Hidrográfica. I. Borba, Fernando Henrique,  
orient. II. Sausen, Mateus Gustavo, co-orient. III.  
Universidade Federal da Fronteira Sul. IV. Título.

**VERÔNICA MIKILYTA URACH DE CASTRO**

**CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA E PARÂMETROS DE QUALIDADE DA  
ÁGUA DA MICROBACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO ITAQUARINCHIM,  
SANTO ÂNGELO/RS**

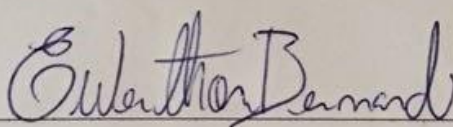
Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para a obtenção de grau de Bacharel em Engenharia Ambiental da Universidade Federal da Fronteira Sul.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Henrique Borba

Coorientador: Msc. Mateus Gustavo Sausen

Este trabalho de conclusão de curso foi defendido e aprovado pela banca em:  
13/12/2016

**BANCA EXAMINADORA**



Prof. Msc. Ewerthon Cezar Schiavo Bernardi - UFFS/Cerro Largo - RS

---

Prof. Dr. Milton Norberto Strieder - UFFS/Cerro Largo - RS

*À minha vó Veronica e minha mãe Cláudia,  
meus dois maiores exemplos de  
determinação.*

***Dedico***

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, Claudia e Everaldo, pela vida, apoio incondicional, amor e exemplos de que o estudo é sempre um bom caminho.

A toda a minha família que sempre oferece suporte.

Ao meu namorado, Gean, pelo companheirismo, por me ensinar a prestar atenção nas oportunidades que a vida nos dá e por ser um exemplo de que trabalhar com o que se ama vale a pena.

Aos meus orientadores Fernando Borba, Diego Manenti e Mateus Sausen, pela orientação, paciência e confiança.

Aos técnicos do laboratório de águas da UFFS, que me auxiliaram nas análises.

Aos professores Daniel e Mário pela grande ajuda.

A todos os professores do curso de Engenharia Ambiental, por todo o conhecimento compartilhado ao longo desses anos.

Aos amigos que sempre estiveram torcendo por mim.

*Meus agradecimentos*

## RESUMO

A preocupação crescente com a qualidade da água dos corpos hídricos vem motivando a realização de análises que busquem apresentar à comunidade a situação atual deste importante recurso natural. Dessa forma, o presente estudo objetiva realizar a caracterização fisiográfica e determinar os índices de qualidade das águas da Bacia Hidrográfica do Arroio Itaquarinchim, localizado no município de Santo Ângelo/RS. Para isso, foram realizadas coletas de água em três pontos estratégicos ao longo do arroio, durante os meses de agosto e setembro de 2016. Primeiramente, obteve-se a caracterização fisiográfica da microbacia a partir do *software* QGIS utilizando a base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul (HASENACK; WEBER, 2010). Após isso, foram realizadas as análises dos parâmetros coliformes termotolerantes, pH, DBO<sub>5,20</sub>, nitrogênio total, fósforo total, temperatura, turbidez, resíduo total e oxigênio dissolvido (OD), a fim de calcular o Índice de Qualidade das Águas (IQA) e classificar o local de estudo. Ainda, foram calculados o Índice de Estado Trófico (IET) e o Índice de Balneabilidade (IB) do rio nos três pontos de coleta. Por fim, foram comparados alguns parâmetros químicos analisados em relação aos valores estipulados pela legislação vigente. Foi determinado que a microbacia é de ordem 3. A mesma apresenta Kc igual a 1,82, e confirma a baixa suscetibilidade a enchentes através de um Kf baixo. Também foi determinado que possui drenagem regular, com Dd igual a 1,19 km/km<sup>2</sup>, extensão média de escoamento superficial com o valor de 0,65 km, e corpo hídrico principal com baixa sinuosidade. O resultado do IQA foi determinado como ruim a péssimo, o IET classificado como oligotrófico, e IB satisfatório no ponto P1 e impróprio para contato primário nos demais pontos. Os parâmetros em desacordo com a legislação, para águas doces de Classe 2, são oxigênio dissolvido, nitrogênio total, alumínio, cloro e ferro. De forma geral, pôde-se observar que a qualidade do Arroio Itaquarinchim, no município de Santo Ângelo/RS, vem sendo bastante prejudicada, principalmente por fatores de origem antrópica, e deve ser objeto de estudo do poder público a fim de reverter a situação atual.

**Palavras-Chave:** Arroio Itaquarinchim. Qualidade da água. Microbacia hidrográfica.

## ABSTRACT

The concern about the water quality of water bodies has motivated the analysis that seek to present to the community the current situation of this important natural resource. Thus, the present study aims to perform the physiographic characterization and to determine the water quality index of the Itaquarinchim Stream Hydrographic Basin, located in Santo Ângelo/RS. For this, water was collected at three strategic points along the stream, during the months of August and September of 2016. Firstly, the physiographic characterization of the microbasin was obtained from the QGIS software using continuous vector cartographic base of Rio Grande do Sul (HASENACK; WEBER, 2010). Then, the analyzes of the parameters thermotolerant coliform, pH, BOD<sub>5,20</sub>, total nitrogen, total phosphorus, temperature, turbidity, total residue and dissolved oxygen (DO) were carried out to calculate the Water Quality Index (IQA) and classify the study site. Also, the Trophic State Index (TSI) and the Balneability Index (BI) of the stream were calculated at the three points of collection. Finally, some analyzed chemical parameters were compared in relation to the values stipulated by the current legislation. It was determined that the microbasin is 3<sup>th</sup> order. It has Kc equal to 1.82, and confirms the low susceptibility to floods through a low Kf. It was also determined that it has regular drainage, with Dd equal to 1.19 km / km<sup>2</sup>, mean surface runoff with a value of 0.65 km, and main water body with low sinuosity. The results showed WQI from poor to very poor, TSI classified as oligotrophic, and BI as satisfactory at Point 1, and improper for primary contact at the other points. The parameters in disagreement with the legislation for class two fresh waters are dissolved oxygen, total nitrogen, aluminum, chlorine and iron. In general, it could be observed that the quality of Itaquarinchim Stream, in Santo Ângelo city, has been greatly impaired, mainly due to factors of anthropic origin, and should be studied by the public power to reverse the current situation.

**Keywords:** Itaquarinchim Stream. Water quality. Hydrographic microbasin.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Sub-bacia Hidrográfica do Rio Ijuí.....	21
Figura 2 – Localização do município de Santo Ângelo no Estado do Rio Grande do Sul.....	22
Figura 3 – Microbacia do Arroio Itaquarinchim no município de Santo Ângelo. ....	23
Figura 4 – Localização dos pontos de coleta no Arroio Itaquarinchim, em Santo Ângelo/RS. ....	24
Figura 5 – Variação do IQA entre os pontos de análise. ....	32
Figura 6 – Concentração de Oxigênio Dissolvido em comparação com a CONAMA 357/05. ....	35
Figura 7 – Concentração de Nitrogênio Total em comparação com a CONAMA 357/05. ....	36
Figura 8 – Concentração de Alumínio em comparação com a CONAMA 357/05.....	36
Figura 9 – Concentração de Cloro em comparação com a CONAMA 357/05. ....	37
Figura 10 – Concentração de Ferro em comparação com a CONAMA 357/05.....	37

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros para o cálculo do IQA e seus respectivos pesos. ....	27
Tabela 2 – Classificação do IQA em diferentes estados brasileiros.....	27
Tabela 3 – Classificação de estado trófico para rios através do fósforo. ....	28
Tabela 4 – Classificação de balneabilidade considerando coliformes termotolerantes.....	28
Tabela 5 – Resultados das variáveis necessárias para a caracterização fisiográfica da microbacia do Arroio Itaquarinchim.....	31
Tabela 6 – Resultados dos parâmetros analisados para a caracterização fisiográfica da microbacia do Arroio Itaquarinchim.....	31
Tabela 7 – Dados de cada ponto de coleta para o cálculo do IQA. ....	31
Tabela 8 – Concentração de Fósforo Total nos pontos amostrais em comparação com a legislação. ..	33
Tabela 9 – Concentração de coliformes termotolerantes em cada ponto, por semana. ....	34

## LISTA DE SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CORSAN	Companhia Riograndense de Saneamento
DBO	Demanda bioquímica de oxigênio
Dd	Densidade de drenagem
EPA	Environmental Protection Agency of United States
ETA	Estação de tratamento de água
ETE	Estação de tratamento de esgoto
IB	Índice de Balneabilidade
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IET	Índice do Estado Trófico
IQA	Índice de Qualidade da Água
Kc	Coefficiente de Compacidade
Kf	Fator de Forma
<i>l</i>	Extensão Média de Escoamento Superficial
NMP	Número mais provável
OCC	Oxidação Catalítica por Combustão 680 ° C
OD	Oxigênio dissolvido
pH	Potencial Hidrogeniônico
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
RS	Rio Grande do Sul
SIG	Sistema de Informações Geográficas
Sin	Sinuosidade
SINGREH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
TXRF	Análise Elementar por Fluorescência de raio-X por reflexão total
UFC	Unidades Formadoras de Colônia
UNIOESTE	Universidade Estadual do Oeste do Paraná

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	OBJETIVOS .....	13
2.1	Objetivo Geral.....	13
2.2	Objetivos Específicos .....	13
3	REFERENCIAL TEÓRICO .....	14
3.1	Bacia Hidrográfica.....	14
3.2	Disponibilidade da Água .....	14
3.3	Uso Múltiplo da Água.....	15
3.4	Qualidade da Água para Abastecimento Humano .....	16
3.5	Índices de Qualidade de Água .....	16
3.5.1	Índice de Qualidade das Águas (IQA) .....	16
3.5.2	Índice de Estado Trófico (IET).....	17
3.5.3	Índice de Balneabilidade (IB) .....	18
3.6	Impactos e Alterações nos Corpos Hídricos .....	19
4	MATERIAIS E MÉTODOS .....	21
4.1	Identificação da Área de Estudo.....	21
4.2	Reagentes e Solventes .....	23
4.3	Coleta e Preservação da Amostra.....	23
4.4	Determinação Analítica .....	24
4.5	Caracterização Fisiográfica da Bacia.....	25
4.6	Determinação dos Índices de Qualidade.....	27
4.6.1	Índice de Qualidade da Água (IQA) .....	27
4.6.2	Índice de Estado Trófico (IET).....	28
4.6.3	Índice de Balneabilidade (IB) .....	28
4.7	Análise dos Parâmetros de Qualidade em Comparação à Legislação .....	29
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	30
5.1	Caracterização Fisiográfica da Bacia.....	30
5.2	Determinação dos Índices de Qualidade.....	31
5.2.1	Índice de Qualidade da Água.....	31
5.2.2	Índice de Estado Trófico .....	33
5.2.3	Índice de Balneabilidade .....	33
5.2.4	Análise dos parâmetros de qualidade em comparação com a Legislação .....	34
6	CONCLUSÃO .....	38
	REFERÊNCIAS.....	39

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente, os cursos d'água estão com a qualidade comprometida devido a um amplo leque de causas, dentre elas estão a falta de planejamento urbano e saneamento básico, a disposição de resíduos em locais inadequados, o manejo inadequado do solo, a fiscalização ambiental insuficiente, e ainda, com o avanço tecnológico, a crescente geração de resíduos.

Em 1997, o cenário tendeu a melhorar com a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei Nº 9433/97), a qual cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH) e baseia-se no fundamento de que a água é um bem finito e de valor econômico (BRASIL, 1997). Com isso, para uma melhor gestão das bacias e visando atender aos usos múltiplos da água, como rege a legislação, surge a necessidade de uma visão ampla de gerenciamento desse recurso finito.

Para auxiliar a gestão de recursos hídricos, a ferramenta SIG (Sistema de Informações Geográficas) tem sido amplamente utilizada, pois promove o estudo de bacias através de representações gráficas, favorecendo a caracterização das mesmas quanto a delimitações espaciais, divisão de sub-bacias, interpretação topográfica, uso e ocupação da bacia, vegetação, entre outros. Esse método automatizado permite a sobreposição de mapas, inter-relacionando os mesmos, a fim de realizar as análises previamente determinadas (GONÇALVES et al., 2007).

Os índices de qualidade das águas também são ferramentas que auxiliam a gestão dos recursos hídricos. Além de servirem como base para a tomada de decisão por parte de técnicos, a fácil interpretação dos índices, como qualidade boa ou ruim, próprio ou impróprio, informam a população e a conscientizam sobre a importância da preservação dos mananciais (JHA, 2015).

Quando combinadas essas ferramentas, são de grande relevância para a outorga de direito de uso da água, que é um ato administrativo que concede

Dessa maneira, o trabalho em questão caracterizou fisiograficamente a Microbacia Hidrográfica do Arroio Itaquarinchim e determinou os índices de qualidade da água, bem como analisou parâmetros químicos do Arroio Itaquarinchim, localizado no município de Santo Ângelo/RS, visando a apresentação à população e ao poder público dos resultados obtidos.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Realizar a caracterização fisiográfica da Microbacia Hidrográfica do Arroio Itaquarinchim e determinar os índices de qualidade das águas do Arroio Itaquarinchim, localizado no município de Santo Ângelo/RS.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Realizar a caracterização fisiográfica da Microbacia Hidrográfica do Arroio Itaquarinchim através de parâmetros, tais como coeficiente de compacidade, densidade de drenagem, ordem dos cursos d'água, sinuosidade, vazão e escoamento superficial;
- Calcular o IQA através dos seguintes parâmetros: Coliformes Termotolerantes, pH, DBO<sub>5,20</sub>, Nitrogênio Total, Fósforo Total, Temperatura, Turbidez, Resíduo Total e OD;
- Determinar o Índice do Estado Trófico (IET), calculado a partir do fósforo total;
- Determinar o Índice de Balneabilidade (IB);
- Analisar os parâmetros químicos com a Resolução CONAMA 357/05.

### **3 REFERENCIAL TEÓRICO**

#### **3.1 Bacia Hidrográfica**

As definições de bacia hidrográfica são dadas em concordância entre vários autores, geralmente definidas como áreas de drenagens limitadas por divisores de águas. Uma bacia é um conjunto de terras onde ocorre o escoamento de rios, a partir das partes mais altas do relevo para as partes mais baixas, infiltrando no solo e/ou formando rios. Os rios se juntam a outros rios, compondo cursos d'água com maiores volumes, que após desembocam no oceano. De outro modo, bacias hidrográficas são definidas como sistemas abertos que recebem e liberam energia, através de agentes climáticos e deflúvio, respectivamente. Além disso, recebem alterações de atividades antrópicas, porém, dependendo da alteração, conseguem alcançar o equilíbrio dinâmico (LIMA; ZAKIA, 2000; BARRELLA, 2001; TEODORO, 2007).

A Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei 9.433/97, define bacia hidrográfica baseada na finalidade de gestão. Sendo assim, uma bacia hidrográfica é classificada como a unidade territorial para a implementação da PNRH e atuação do SINGREH (BRASIL, 1997). Para fins de estudo de gestão e de outorga da água, as bacias são divididas em sub-bacias, como no exemplo da Bacia Hidrográfica do Alto Iguaçu, a qual foi delimitada em trinta sub-bacias a partir dos principais afluentes do Alto Rio Iguaçu (PARANÁ, 2000). As microbacias também são adotadas objetivando a pesquisa.

A caracterização fisiográfica de bacias é de extrema importância para o entendimento de sua dinâmica, e de acordo com Villela e Matos (1975), para se conhecer a variação no espaço dos elementos do regime hidrológico, através de dados como área de drenagem, forma da bacia, sistemas de drenagem e relevo.

#### **3.2 Disponibilidade da Água**

A utilização não planejada da água, juntamente com o lançamento de resíduos domésticos e industriais nos corpos d'água, tem ocasionado a deterioração dos recursos hídricos, e também, a sua escassez. A disponibilidade desse recurso se refere não somente à quantidade existente no meio ambiente, mas também está relacionada à qualidade e à destinação da mesma. De acordo com Tucci et al. (2003), no Brasil, em média, não existe déficit quanto à relação disponibilidade/demanda, no entanto ocorrem situações críticas em períodos de estiagem em regiões como o semi-árido brasileiro e em cidades de grande e médio porte. No

Nordeste, os períodos de estiagem devem-se às condições hídricas desfavoráveis e à alta evapotranspiração. Já nas regiões populosas, a redução de disponibilidade hídrica é causada pela poluição doméstica e industrial, por enchentes que contaminam os mananciais, e ainda devido à alta demanda de água. A Lei 9.433/97, que institui a PNRH, determina que em caso de escassez a água deve ser prioritariamente ofertada ao consumo humano e a dessedentação de animais (BRASIL, 1997).

### **3.3 Uso Múltiplo da Água**

Conforme a Lei 9.433/97, a implementação do SINGREH, o qual baseia-se no fundamento de sempre proporcionar o uso múltiplo das águas, traz segurança aos usuários de água através da gestão, conciliando os usos múltiplos e garantindo o acesso a esse recurso, conforme a disponibilidade hídrica da bacia (BRASIL, 1997).

No Brasil, o cenário de usos da água apresenta-se pelo consumo de 70% na agricultura e pecuária, utilizados na irrigação de cultivos e na dessedentação de animais, 8% para o abastecimento doméstico e 22% para o abastecimento industrial (MACEDO, 2001 apud LIMA, 2001, p. 15). O estudo dos usos múltiplos da água é de fundamental importância para a gestão de bacias hidrográficas, sendo possível comparar o uso com a qualidade da água dos respectivos trechos e verificar os principais poluidores da bacia, bem como definir métodos de minimização da poluição e basear os estudos para a determinação de outorga.

A Bacia Hidrográfica do Tietê/Jacaré, localizada no centro do Estado de São Paulo, foi estudada durante dois anos por Tundisi et al. (2008). Essa região possui uma economia predominantemente dependente do agronegócio, com a maior parte da área ocupada por pastagens, e apenas 0,59% da área ocupada por cidades. Através de geoprocessamento, análise de qualidade da água e elaboração de banco de dados, foi elaborada uma proposta de gestão dos recursos hídricos considerando sua disponibilidade e demanda, garantindo o uso múltiplo das águas. A proposta abordou a valoração dos serviços dos ecossistemas; a integração de processos econômicos, sociais e ambientais no programa de desenvolvimento sustentável da bacia; a consideração em relação ao agronegócio ser a principal atividade econômica; e o desenvolvimento do índice de qualidade da bacia hidrográfica.

Da mesma forma, segundo Tucci et al. (2003), é de fundamental importância o desenvolvimento dos comitês de bacias hidrográficas, bem como o desenvolvimento de projetos para a solução dos problemas identificados.



### **3.4 Qualidade da Água para Abastecimento Humano**

D'Águila et al. (2000) afirmaram que o propósito primário para a exigência de qualidade da água é a proteção à saúde pública. A portaria do Ministério da Saúde 2.914/11 dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Para atender esse padrão de potabilidade, a água deve estar em conformidade com o padrão microbiológico, de substâncias químicas, de cianotoxinas, de radioatividade e padrão organoléptico da água (BRASIL, 2011).

As classes de corpos hídricos possíveis para abastecimento público são regulamentadas pela Resolução CONAMA 357/05, a qual especifica quais os tratamentos destinados às respectivas classes devem ser adotados. As águas doces, salobras e salinas são classificadas quanto à qualidade requerida, porém o consumo humano deve ser abastecido somente por água doce. Mananciais de Classe Especial podem ser disponibilizados para consumo humano mediante tratamento por desinfecção. Mananciais de Classe 1 podem ser destinados ao abastecimento público após tratamento simplificado. Mananciais de Classe 2 podem ser destinados ao abastecimento humano somente após tratamento convencional. Mananciais de Classe 3 podem ser destinados ao abastecimento humano mediante tratamento convencional ou avançado. Por fim, mananciais de Classe 4 não podem ser destinados ao abastecimento público, somente à navegação e harmonia paisagística (BRASIL, 2005).

### **3.5 Índices de Qualidade de Água**

Visando o fácil entendimento sobre a qualidade das águas pelo público leigo, os índices que qualificam os corpos hídricos informam a população e a conscientizam sobre a importância da preservação dos mananciais, além de servir como base para uma gestão adequada dos mesmos.

#### **3.5.1 Índice de Qualidade das Águas (IQA)**

O Índice de Qualidade das Águas é uma combinação de variáveis que interferem na qualidade da água, transformando-as em um único valor adimensional, através de curvas de classificação (JHA et al., 2015). Os resultados obtidos são classificados nas seguintes categorias: ótima, boa, razoável, ruim ou péssima, sendo que os parâmetros avaliados são oxigênio dissolvido, coliformes termotolerantes, pH, DBO<sub>5,20</sub>, temperatura da água,

nitrogênio total, fósforo total, turbidez e resíduo total. Cada parâmetro possui um determinado peso e valor de qualidade para o cálculo do IQA. Conforme a Agência Nacional das Águas, esses parâmetros são, em sua maioria, indicadores de contaminação causada pelo lançamento de esgotos domésticos (ANA, 2016).

Como a classificação é de fácil entendimento, até mesmo para leigos, percebe-se a importância da utilização do IQA para a conscientização da população em relação à preservação de mananciais.

No Brasil, o estudo realizado na Bacia de Paranapanema, no Estado de São Paulo, quantificou a qualidade da água através do IQA, onde os rios Macuco e Queixada foram monitorados de 2003 a 2005, e o índice proposto foi composto por três parâmetros ambientais – turbidez, fósforo total e oxigênio dissolvido. Os resultados foram comparados com o índice proposto pela *Environmental Protection Agency of United States* (EPA), e como conclusão, o índice variou em uma faixa de 48 a 90, indicando degradação na bacia causada por atividades de aquicultura (SIMÕES et al., 2008).

Na China, um estudo similar utilizando IQA foi realizado na bacia do *Yellow River*, o qual é extremamente importante para o abastecimento público e industrial da região, porém as atividades antrópicas têm grande impacto sobre sua qualidade. Para isso, cinco reservatórios dessa bacia foram comparados, analisando 20 parâmetros ambientais para determinar os principais contaminantes, e nove desses parâmetros para o cálculo do IQA. Os resultados obtidos variaram de 17,8 até 77,8 nos cinco reservatórios, indicando a variação da qualidade de péssima à boa. O estudo concluiu que mercúrio, sulfato e fósforo total apresentam-se como os principais poluentes devido à agricultura e descarga de esgoto doméstico (HOU et al., 2015).

### **3.5.2 Índice de Estado Trófico (IET)**

Despejos de efluentes em cursos d'água enriquecem o meio com nutrientes, como nitrogênio e fósforo. Eles servem como fonte de energia para processos biológicos, acarretando no crescimento de organismos que dependem desses nutrientes, como as algas (CETESB, 2009). A partir disso, tem-se um processo em cadeia, pois o aumento de algas impede a passagem de luz solar para o fundo da água, desse modo os organismos que vivem em ambientes mais profundos começam a morrer pela falta desse elemento. Consequentemente, com a degradação desses organismos, acontece o aumento de nutrientes, os quais alimentam as algas, criando um círculo vicioso.

A eutrofização está relacionada também com a baixa quantidade de oxigênio dissolvido.

As bactérias consomem o oxigênio disponível na água para degradar matéria orgânica. Sendo assim, as águas poluídas possuem baixos valores para oxigênio dissolvido, enquanto que as águas limpas possuem oxigênio dissolvido próximo do valor de saturação. Nesse contexto, as algas podem alterar os resultados desses valores, pois liberam oxigênio durante o dia, devido à fotossíntese. Valores de oxigênio dissolvido em ambientes lênticos com a presença de algas alcançam mais que  $10 \text{ mg L}^{-1}$  durante o dia, devido à fotossíntese, caracterizando supersaturação. A determinação do valor de saturação de oxigênio dissolvido na água considera a solubilidade do gás em relação à temperatura da água (CETESB, 2009).

Com a necessidade de estimar o nível de eutrofização em corpos hídricos, surgiu o índice de estado trófico, o qual classifica o nível de trofia quanto ao enriquecimento por nutrientes e o seu efeito em relação ao aumento de macrófitas e algas. O índice utiliza valores de fósforo para medir o potencial de eutrofização, e a clorofila indica o crescimento de algas. A média desses valores representa a causa e o efeito do processo em geral. Os níveis de trofia são classificados em: ultraoligotrófico, oligotrófico, mesotrófico, eutrófico, supereutrófico e hipereutrófico (CETESB, 2015).

### 3.5.3 Índice de Balneabilidade (IB)

Por falta de saneamento adequado, corpos hídricos acabam sendo poluídos, e em certos casos contaminados, com esgoto sanitário, tornando-se um meio de propagação de doenças. Para assegurar e informar aos banhistas sobre a qualidade das águas onde ocorre contato primário foi criado o índice de balneabilidade, assegurando a saúde e o bem-estar da população.

A CONAMA 274, de 29 de novembro de 2000, estabelece categorias, definidas como própria ou imprópria, para a utilização de águas para recreação de contato primário. Segundo esta resolução, a recreação de contato primário é o contato direto do usuário com os corpos de água. Isso se dá em atividade como natação e mergulho. O índice de balneabilidade é estimado através do número mais provável de coliformes termotolerantes, (*Escherichia coli* ou *enterococos*), e é classificado em águas próprias para recreação de contato primário ou impróprias. A categoria própria é subdividida em excelente, muito boa ou satisfatória. (BRASIL, 2000).

Um estudo foi realizado no estado do Rio Grande do Norte, a fim determinar a balneabilidade do Riacho da Bica, local de forte atividade turística de contato primário. O parâmetro utilizado foi E. coli para comparação com a resolução vigente. O resultado obtido no monitoramento de cinco semanas, em período de estiagem, apresentou um total de 248 unidades

formadoras de colônia (UFC) e nenhuma amostra apresentou concentração superior a 80 UFC/100 mL. A pesquisa concluiu que o Riacho da Bica se enquadra como excelente no IB, em pelo menos 80% das amostras, como preconiza a Resolução CONAMA 274/2000 (MEDEIROS et al., 2016).

### **3.6 Impactos e Alterações nos Corpos Hídricos**

No Brasil, a regulamentação de descarte de efluentes é feita pela Resolução CONAMA 430/11, a qual complementa e altera a Resolução CONAMA 357/05, e “dispõe sobre condições, parâmetros, padrões e diretrizes para gestão do lançamento de efluentes em corpos de água receptores” para garantir a qualidade dos corpos hídricos e, conseqüentemente, a sua utilização responsável. Entretanto, a degradação de mananciais é uma realidade que possui causas naturais e antrópicas (BRASIL, 2005, 2011).

As principais ações antrópicas são lançamento de cargas nos sistemas hídricos, alteração do uso do solo rural e urbano, e modificações no sistema fluvial. Além dos efluentes domésticos possuírem alta carga orgânica, há também os efluentes industriais que contribuem na degradação dos recursos hídricos com compostos sintéticos e metais pesados. Os sistemas agrícolas degradam o solo e contaminam mananciais através da presença de pesticidas e fertilizantes; exigem alta demanda de água para irrigação em culturas como o arroz por inundação; e ainda, contaminam os lençóis freáticos de maneira difusa, sendo mais difícil a sua determinação e precaução (TUCCI et al., 2000; LIMA, 2001).

Lima (2001, p. 32) afirma que os poluentes de maior representatividade são os que causam a deficiência de oxigênio nos corpos hídricos em função de material orgânico, gerando um elevado crescimento de algas por causa de grande disponibilidade de nutrientes, além de organismos patogênicos, material em suspensão, metais pesados, material orgânico tóxico e calor.

A Resolução CONAMA 430/11 determina que as fontes poluidoras dos corpos hídricos são responsáveis pela gestão de efluentes objetivando o uso eficiente da água, bem como a aplicação de técnicas para redução da geração e melhoria da qualidade de efluentes gerados e, sempre que possível, a reutilização (BRASI, 2011).

Áreas urbanas são onde mais ocorre degradação de mananciais, uma vez que eles acabam sendo o destino dos efluentes gerados nessas áreas. De acordo com Tucci et al. (2000), a maioria dos rios que estão localizados dentro de cidades brasileiras estão deteriorados devido à falta de coleta e tratamento de esgotos domésticos, recebendo *in natura* esses dejetos.

Comumente, muitas cidades brasileiras possuem estação de tratamento de esgoto (ETE), porém o mesmo atende apenas uma parte da população, ou é ineficiente no tratamento. O mesmo autor afirma ainda que, quando não há ETE, mas existe apenas a rede, o impacto é agravado, pois o corpo hídrico recebe carga concentrada em uma única seção (TUCCI et al., 2000, p. 45).

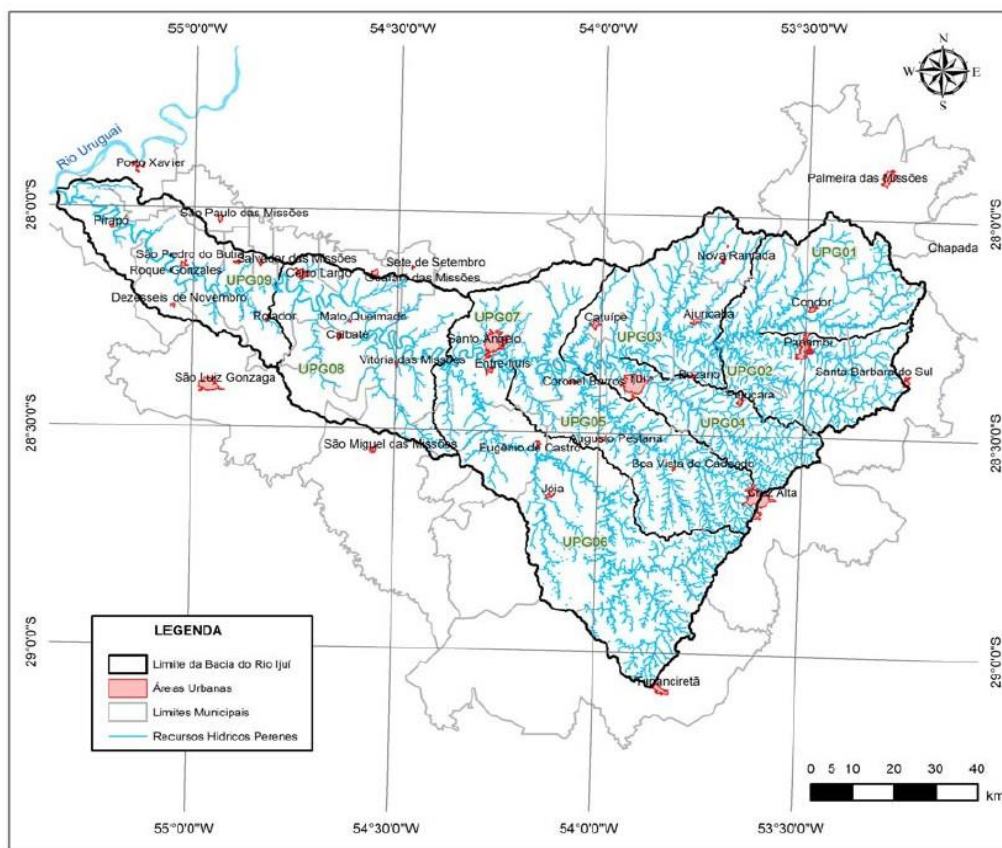
De acordo com IBGE (2002), existe desigualdade nos serviços de coleta de esgotos prestados no Brasil. Essa desigualdade é percebida em cidades com maior número populacional, as quais possuem maior proporção de domicílios com serviços de esgoto do que em cidades com população menor. Em outras palavras, é o tamanho da população que determina a quantidade de residências ligadas à rede geral de esgoto.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Identificação da Área de Estudo

No Noroeste do estado do Rio Grande do Sul localiza-se a Sub-bacia Hidrográfica do Rio Ijuí, entre as coordenadas 28°00' a 29°05' de latitude Sul e 53°11' a 55°21' de longitude Oeste (ver Figura 1). Sua área é de aproximadamente 10.703,78 km<sup>2</sup>, abrangendo 38 municípios total ou parcialmente. Essa bacia, denominada como U-90, está inserida na Região Hidrográfica do Uruguai, juntamente com mais nove unidades. (RIO GRANDE DO SUL, 2012).

Figura 1 – Sub-bacia Hidrográfica do Rio Ijuí.



Fonte: RIO GRANDE DO SUL, 2012.

O Arroio Itaquarinchim, objeto de estudo do presente trabalho, é o afluente principal da microbacia denominada com seu próprio nome. A microbacia está inserida na sub-bacia do Rio Ijuí, e está localizada no município de Santo Ângelo/RS, cuja população é estimada em 76.275 habitantes e a área é de 680,498 km<sup>2</sup> (IBGE, 2010). É de importância social e econômica a qualidade da água do Arroio Itaquarinchim, pois, além de percorrer todo o centro urbano e ser

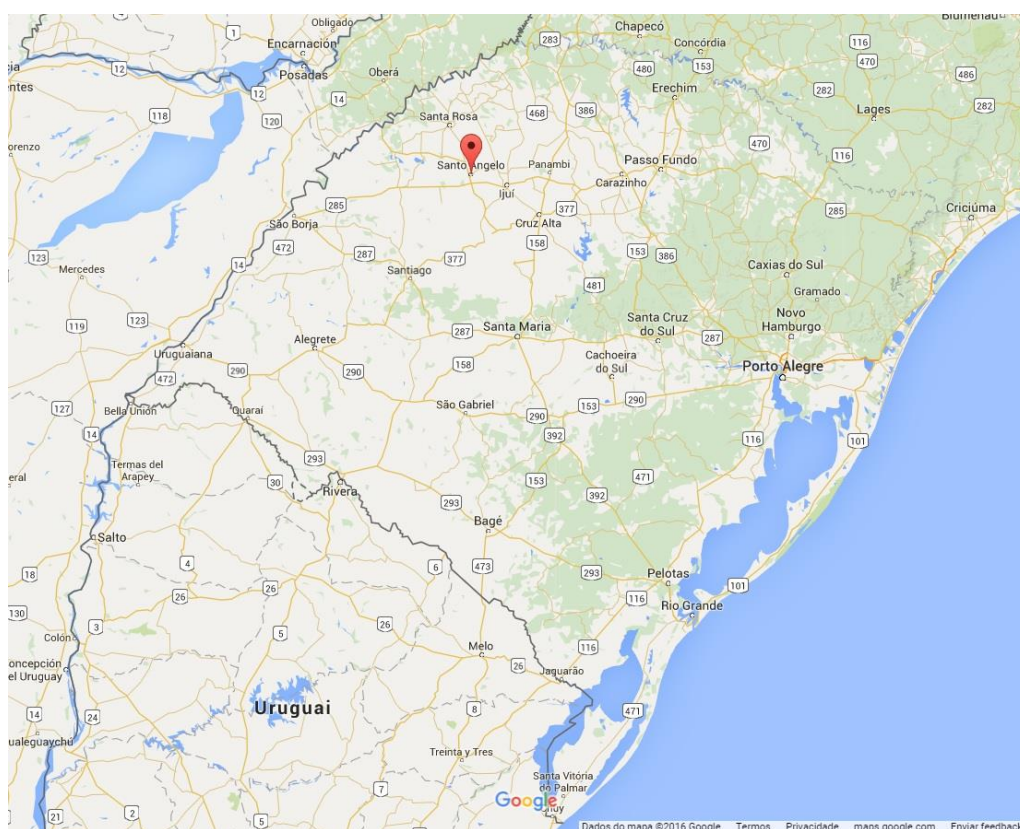
meio de transmissão de doenças devido à poluição, também abastece a parte norte do município, região que possui características de potabilidade mediante tratamento, pois é onde inicia seu percurso na cidade de Santo Ângelo. A outra parte do município é abastecida pelo rio Ijuí.

Em relação ao esgotamento sanitário no município, Santo Ângelo possui 5.409 domicílios que destinam seus efluentes domésticos em rede geral de esgoto ou pluvial, 2.486 domicílios destinam em fossa séptica, 16.414 em fossa rudimentar, 133 em valas e 822 domicílios destinam os efluentes diretamente em rios (IBGE, 2010).

O solo predominante na região Noroeste do Rio Grande do Sul é o Latossolo Vermelho distroférico típico, porém, no município de Santo Ângelo, ocorre a variação do Neossolo Regolítico e do Nitossolo Vermelho (RIO GRANDE DO SUL, 2012).

Na Figura 2 é apresentada a localização do município de Santo Ângelo a partir do mapa do Estado do Rio Grande do Sul.

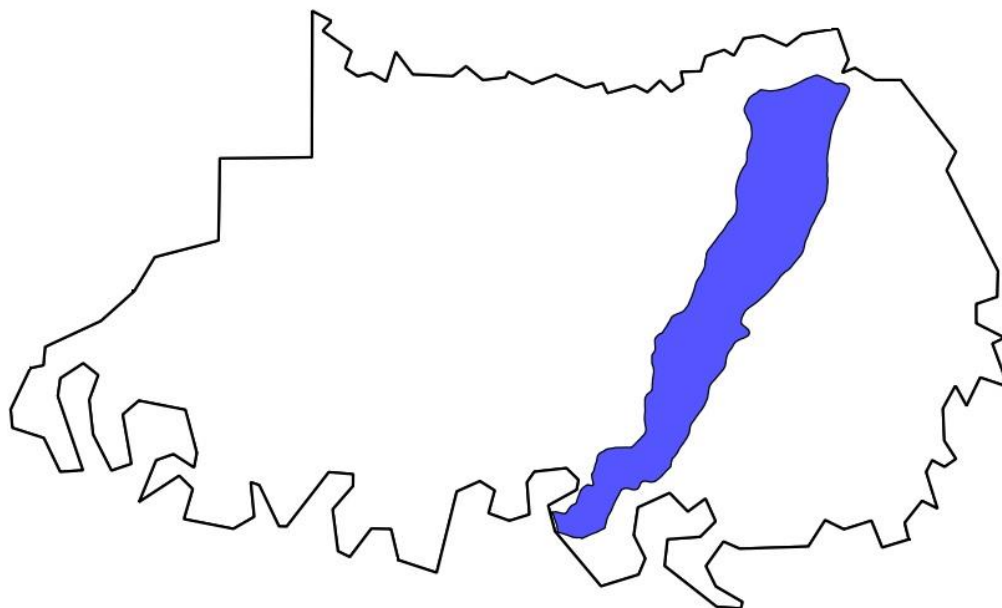
Figura 2 – Localização do município de Santo Ângelo no Estado do Rio Grande do Sul.



Fonte: GOOGLE MAPS, 2016.

Verifica-se, a partir da Figura 3, uma ilustração da Microbacia do Arroio Itaquirinchim localizada dentro do município de Santo Ângelo.

Figura 3 – Microbacia do Arroio Itaquarinchim no município de Santo Ângelo.



Fonte: adaptado de Wolski, 2003.

## 4.2 Reagentes e Solventes

Para a determinação da DBO, foram utilizadas pastilhas de Hidróxido de Potássio e sachês de nutriente para DBO, ambos da marca Hach. Objetivando a determinação de coliformes termotolerantes, foi utilizado Peptona de carne e caldo EC, da marca Himedia, e cloreto de sódio, da marca Vetec. Para diluições foi utilizado água destilada, proveniente do Laboratório de Águas da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), *campus* Cerro Largo.

## 4.3 Coleta e Preservação da Amostra

Foram determinados três pontos no Arroio Itaquarinchim para a realização da coleta de água, sendo o primeiro antes do perímetro urbano (P1), o segundo próximo ao ponto de captação de água para abastecimento público (P2) e o terceiro após o perímetro urbano de Santo Ângelo (P3). A fim de determinar os índices IQA e IET, a coleta se deu no dia 13 de agosto de 2016, por volta das 11 horas da manhã. As coletas para análise do IB ocorreram em cinco semanas consecutivas, a partir da data da coleta para os demais índices.

Para a determinação dos pontos de coleta, adotou-se os seguintes critérios:

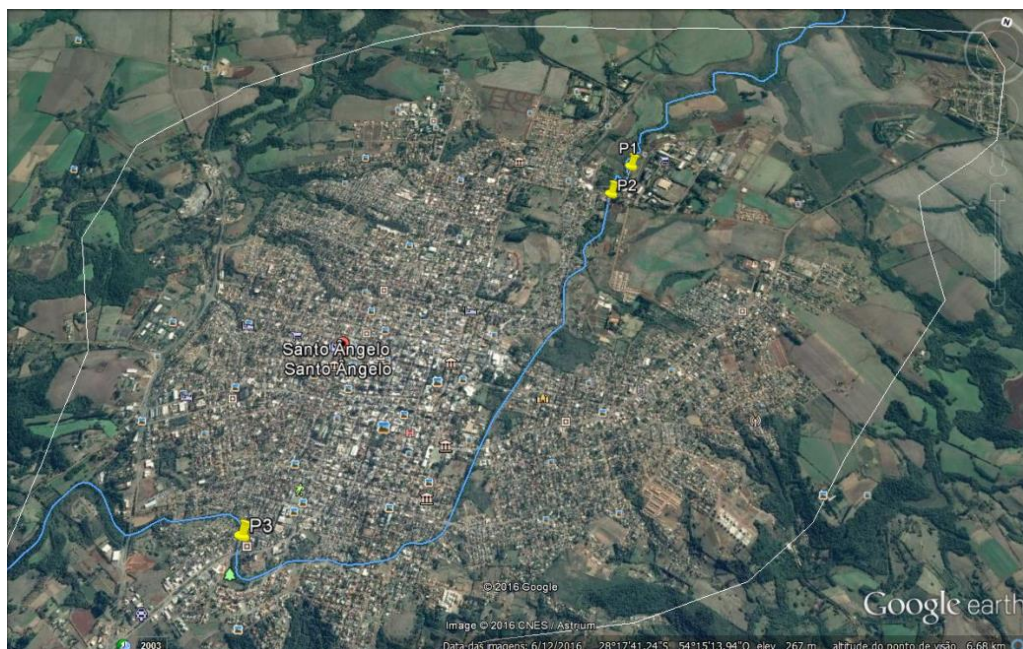
- P1 – Localização do rio antes de entrar no centro urbano;
- P2 – Ponto de captação de água realizado pela CORSAN;



- P3 – Influência antrópica sobre a qualidade do rio.

Na Figura 4 é apresentada a localização dos pontos onde foram realizadas as coletas.

Figura 4 – Localização dos pontos de coleta no Arroio Itaquarinchim, em Santo Ângelo/RS.



Fonte: GOOGLE EARTH, 2016.

As amostras foram coletadas em frascos de vidro com capacidade de 250 mL para as análises dos parâmetros físico-químicos. O armazenamento destas utilizou uma caixa de isopor com gelo ( $\pm 4^{\circ}\text{C}$ ), e as análises foram realizadas em menos de 24 horas. Já para as análises dos parâmetros biológicos, foram utilizados frascos similares, porém devidamente autoclavados para que não ocorresse contaminação da amostra. O armazenamento foi realizado em caixa de isopor com gelo ( $\pm 4^{\circ}$ ). Foi realizada também a coleta para análise de parâmetros químicos em frascos de 100 mL, os quais foram enviados à Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE) para análise, não necessitando de armazenamento especial. Os procedimentos de coleta e armazenamento seguiram a metodologia descrita na NBR 9.898 (ABNT, 1987).

#### 4.4 Determinação Analítica

Os parâmetros temperatura da água, pH, condutividade e oxigênio dissolvido foram analisados *in situ* através da sonda multiparâmetro, marca YSI. Já os parâmetros sólidos totais, DBO, turbidez e coliformes termotolerantes tiveram as análises realizadas no laboratório de Águas da Universidade Federal da Fronteira Sul – UFFS, campus Cerro Largo, através das

metodologias descritas no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005). Os parâmetros químicos foram determinados no Laboratório de Controle de Processos do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), campus Toledo.

Os parâmetros analisados que seguiram as metodologias conforme o APHA (2005) foram: DBO, através do método respirométrico; OD, pH e temperatura, através da sonda multiparâmetros; turbidez, por meio de turbidímetro; coliformes termotolerantes, onde utilizou-se a metodologia dos tubos múltiplos; e resíduos totais, através da metodologia de gravimetria. Para a determinação de Nitrogênio Total foi utilizada a Oxidação Catalítica por Combustão 680 °C (OCC) através do aparelho TOC-L, Shimadzu, seguindo metodologia do próprio fabricante.

Os parâmetros alumínio, fósforo total, cloro, vanádio, cromo, manganês, ferro, cobalto, níquel, cobre, zinco, arsênio, selênio, bário e chumbo, foram analisados pelo método de Fluorescência de Raios-X por Reflexão Total (TXRF), segundo metodologia descrita por Espinoza-Quiñones (2015).

#### 4.5 Caracterização Fisiográfica da Bacia

A caracterização fisiográfica da microbacia hidrográfica do Arroio Itaquarinchim foi realizada por meio do coeficiente de compacidade, fator de forma, densidade de drenagem, extensão média do escoamento superficial, sinuosidade e ordem dos cursos d'água. Foi analisado através da base cartográfica vetorial continua do Rio Grande do Sul, escala 1:50.000 (HASENACK; WEBER, 2010).

O coeficiente de compacidade ou de Gravelius ( $K_c$ ) relaciona a forma da bacia com um círculo e é calculado a partir da Equação (1), que leva em consideração o perímetro ( $P$ ) da bacia e a circunferência de um círculo de área ( $A$ ) igual à da bacia.

$$K_c = 0,28(P/\sqrt{A}) \quad (1)$$

Onde:

$K_c$ : coeficiente de compacidade;

$P$ : perímetro da bacia, em km;

$A$ : área da bacia, em km<sup>2</sup>.

A bacia é mais irregular, quanto maior o coeficiente de compacidade, e circular quando este é igual a 1. Além disso, tendências para enchentes são determinadas quando  $K_c$  está numa faixa de 0,75 a 1,25 (VILLELA; MATTOS, 1975).

O fator de forma (Kf), de acordo com Villela e Mattos (1975), se dá pela divisão da largura média (Lm) pelo comprimento axial da bacia (L). Considerando que  $Lm = A/L$ , então:

$$Kf = A/L^2 \quad (2)$$

Onde:

Kf: fator de forma;

A: área da bacia, em km<sup>2</sup>;

L: comprimento axial da bacia, em km.

A densidade de drenagem (Dd) indica a eficiência de drenagem de uma bacia e é calculada pela divisão do comprimento total dos cursos d'água (L) pela área total da bacia.

$$Dd = L/A \quad (3)$$

Onde:

Dd: densidade de drenagem, em km/km<sup>2</sup>;

L: comprimento total dos cursos d'água, em km;

A: área da bacia, em km<sup>2</sup>.

Para fins de análise, este índice varia de 0,5 km/km<sup>2</sup> para bacias com drenagem pobre, a 3,5 km/km<sup>2</sup> ou mais para bacias excepcionalmente bem drenadas (VILLELA; MATTOS, 1975).

A extensão média do escoamento superficial (l) é definida como a distância média em que a água da chuva escoaria se isso se desse em linha reta a partir do ponto em que a chuva caiu até o ponto mais próximo no leito de um curso d'água da bacia. A expressão para o cálculo da extensão média do escoamento superficial, segundo Villela e Mattos (1975), considera a área da bacia (A) como um retângulo, e a extensão (L) de um curso d'água.

$$l = A/4L \quad (4)$$

l: extensão média do escoamento superficial, em km;

A: área da bacia, em km<sup>2</sup>;

L: extensão de um curso d'água, em km.

Segundo os mesmos autores, a sinuosidade do curso d'água (Sin) se refere à velocidade do escoamento e é calculada pela divisão do comprimento do rio principal (L) pelo comprimento de um talvegue (Lt).

$$Sin = L/Lt \quad (5)$$

Onde:

Sin: sinuosidade;

L: comprimento do rio principal, em km;

Lt: comprimento de um talvegue, em km.

Dessa forma, a ordem da bacia foi definida utilizando o programa QGIS, através do critério introduzido por Horton e modificado por Strahler (VILLELA; MATTOS, 1975).

## 4.6 Determinação dos Índices de Qualidade

### 4.6.1 Índice de Qualidade da Água (IQA)

Com base nos parâmetros analisados, foi realizado o cálculo do IQA seguindo a metodologia da CETESB, pioneira no Brasil, através da seguinte equação:

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \quad (6)$$

Onde:

IQA: Índice de Qualidade das Águas, um número entre 0 e 100;

$q_i$ : qualidade do  $i$ -ésimo parâmetro, entre 0 e 100, obtido da curva média de variação de qualidade;

$w_i$ : peso correspondente ao  $i$ -ésimo parâmetro, entre 0 e 1;

$n$ : número de variáveis para o cálculo do IQA.

As variáveis da equação são obtidas através da Tabela 1.

Tabela 1 – Parâmetros para o cálculo do IQA e seus respectivos pesos.

Parâmetro	Peso (w)
Oxigênio dissolvido	0,17
Coliformes termotolerantes	0,15
pH	0,12
DBO	0,10
Nitrogênio total	0,10
Fósforo total	0,10
Diferença de temperatura	0,10
Turbidez	0,8
Sólidos totais	0,8

Fonte: ANA, 2016.

A qualidade da água é definida a partir do valor encontrado na Equação (6), e então classificada de acordo com os estados brasileiros, conforme é apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Classificação do IQA em diferentes estados brasileiros.

Faixa de IQA utilizadas nos seguintes Estados: AL, MG, MT, PR, RJ, RN e RS	Avaliação da Qualidade da Água
91 - 100	Ótima
71 - 90	Boa
51 - 70	Razoável
26 - 50	Ruim
0 - 25	Péssima

Fonte: ANA, 2016.

#### 4.6.2 Índice de Estado Trófico (IET)

De acordo com Cetesb (2016), o Índice de Estado Trófico (IET) avalia a qualidade dos corpos hídricos quanto ao enriquecimento por nutrientes. O IET em rios foi calculado a partir dos valores de fósforo total:

$$IET = 10(6 - (0,42 - 0,36 \frac{\ln PT}{\ln 2})) \quad (7)$$

Onde:

IET: Índice de Estado Trófico;

PT: Fósforo Total em  $\mu\text{g L}^{-1}$ .

A classificação do estado trófico é determinada segundo a Tabela 3.

Tabela 3 – Classificação de estado trófico para rios através do fósforo.

Classe de Estado Trófico	Valor do IET
Ultraoligotrófico	$P \leq 13$
Oligotrófico	$13 \leq P \leq 35$
Mesotrófico	$35 \leq P \leq 137$
Eutrófico	$137 \leq P \leq 296$
Supereutrófico	$296 \leq P \leq 640$
Hipereutrófico	$640 < P$

Fonte: CETESB, 2016.

#### 4.6.3 Índice de Balneabilidade (IB)

O Índice de Balneabilidade (IB) avalia a qualidade dos corpos hídricos para recreação de contato primário, a qual é definida pela Resolução CONAMA 274/2000. Para a sua determinação, foi utilizado o número de coliformes termotolerantes como parâmetro biológico. Foram realizadas cinco coletas em cinco semanas, nos dias 13 de agosto, 21 de agosto, 28 de agosto, 4 de setembro e 11 de setembro, todas realizadas em torno das 11 horas da manhã.

Na Tabela 4 são classificados os corpos hídricos como próprio e impróprio para contato primário, em que a categoria própria é dividida em excelente, muito boa ou satisfatória (CETESB, 2016).

Tabela 4 – Classificação de balneabilidade considerando coliformes termotolerantes.

Categoria		Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL)
Própria	Excelente	$\leq 250$ em 80% das cinco análises
	Muito boa	$\leq 500$ em 80% das cinco análises
	Satisfatória	$\leq 1.000$ em 80% das cinco análises
Imprópria		$\geq 1.000$ em mais de 20% das análises
		$\geq 2.500$ na última análise

Fonte: CETESB, 2016.

#### **4.7 Análise dos Parâmetros de Qualidade em Comparação à Legislação**

Por fim, os demais parâmetros analisados foram comparados ao que rege a legislação vigente. Os resultados para alumínio, cloro, vanádio, cromo, manganês, ferro, cobalto, níquel, cobre, zinco, arsênio, selênio, bário e chumbo foram verificados com a Resolução CONAMA 357/05 quanto aos limites máximos permitidos. Importante ressaltar que o Arroio Itaquarinchim não possui classe determinada, sendo assim, o Art. 42 da legislação preconiza que as águas doces sem classificação definida sejam tratadas como de Classe 2 (BRASIL, 2005).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos nos cálculos de caracterização fisiográfica da Microbacia Hidrográfica do Arroio Itaquarinchim, para ordem da bacia, coeficiente de compacidade ou de Gravelius ( $K_c$ ), fator de forma ( $K_f$ ), densidade de drenagem ( $D_d$ ), extensão média do escoamento superficial ( $l$ ), sinuosidade do curso d'água ( $Sin$ ), além dos índices IQA, IET e IB, bem como os parâmetros comparados com a Resolução CONAMA 357/05.

### 5.1 Caracterização Fisiográfica da Bacia

Através do software QGIS, base cartográfica vetorial continua do Rio Grande do Sul, escala 1:50.000 de Hasenack e Weber (2010), e arquivo em formato shape da microbacia do Itaquarinchim de Wolski (2003), foi possível caracterizar fisiograficamente a microbacia do Arroio Itaquarinchim. Todos os dados da caracterização fisiográfica foram interpretados segundo Villela e Mattos (1975).

A microbacia em estudo, classificada como ordem 3, apresenta um coeficiente de compacidade ( $K_c$ ) igual a 1,82, o qual é interpretado como sendo bacia com formato mais irregular. Além disso, não apresenta tendências para enchentes, pois  $K_c$  está fora da faixa de 0,75 a 1,25. A não tendência a enchentes é comprovada pelo fator de forma ( $K_f$ ) que resultou em um valor de 0,10823. Como a microbacia é alongada e possui vários tributários compondo-a ao longo do trecho principal, a concentração do deflúvio é distribuída de maneira a não ocorrer enchentes. Essa característica auxilia no entendimento sobre poluição difusa por transbordamento de fossas sépticas e/ou rudimentares ao longo do arroio Itaquarinchim.

A densidade de drenagem ( $D_d$ ) igual a 1,19 km/km<sup>2</sup>, indica que a microbacia possui capacidade de drenagem regular, a qual varia de 0,5 a 3,5 km/km<sup>2</sup>. A extensão média do escoamento superficial ( $l$ ) apresenta valor de 0,65 Km. Em relação a sinuosidade, o curso d'água principal foi classificado com baixa sinuosidade, pois apresenta um coeficiente igual a 1,23.

As tabelas 5 e 6 apresentam os resultados das variáveis necessárias para a caracterização fisiográfica da microbacia hidrográfica do Arroio Itaquarinchim e os valores obtidos para cada parâmetro referente à caracterização fisiográfica, respectivamente.

Tabela 5 – Resultados das variáveis necessárias para a caracterização fisiográfica da microbacia do Arroio Itaquarinchim.

Variáveis	Resultado	Unidade
Área da bacia	61,9	Km <sup>2</sup>
Perímetro	54,0	Km
Comprimento axial da bacia	23,9	Km
Comprimento total dos cursos d'água	73,9	Km
Comprimento do rio principal	27,8	Km
Comprimento do talvegue	22,6	Km

Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

Tabela 6 – Resultados dos parâmetros analisados para a caracterização fisiográfica da microbacia do Arroio Itaquarinchim.

Parâmetros	Resultado	Unidade
Coefficiente de compacidade	1,82	Adimensional
Fator de forma	0,108	Adimensional
Densidade de drenagem	1,19	Km/Km <sup>2</sup>
Extensão média do escoamento superficial	0,65	Km
Sinuosidade	1,23	Adimensional
Ordem da bacia	3	Adimensional

Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

## 5.2 Determinação dos Índices de Qualidade

### 5.2.1 Índice de Qualidade da Água

Na Tabela 7 são apresentadas as variáveis para o cálculo do IQA, bem como seus respectivos valores, de acordo com cada ponto de amostragem.

Tabela 7 – Dados de cada ponto de coleta para o cálculo do IQA.

Variáveis	P1	P2	P3
OD (%)	15,2	15	16,2
Coliformes termotolerantes (NMP)	920	4.300	140.000
pH	6,4	6,9	6,6
DBO <sub>5,20</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	25	12	21
Temp. água (°C)	14,8	14,3	18,2
Nitrogenio total (mg L <sup>-1</sup> )	3,5	3,2	2,1
Fósforo total (mg L <sup>-1</sup> )	0,0067	0,0072	0,008
Turbidez (NTU)	43	69	22
Resíduo total (mg L <sup>-1</sup> )	271,4	100	171,4
IQA	27,6	29,4	22,9

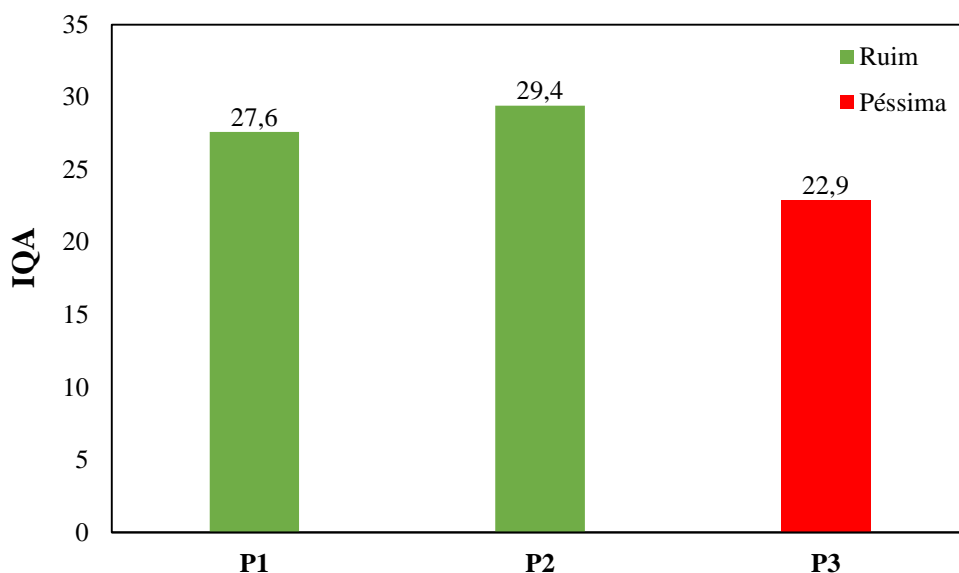
Fonte: elaborado pelo autor.

Foram obtidos para os pontos 1, 2 e 3, valores de IQA de 27,6, 29,4 e 22,9,



respectivamente. Esses resultados enquadram-se na Tabela de classificação de IQA (Tabela 2, seção 4.6.1), observando o Estado do Rio Grande do Sul. Na Figura 5 é apresentada a variação dos IQAs de acordo com o curso d'água.

Figura 5 – Variação do IQA entre os pontos de análise.



Fonte: elaborado pelo autor.

No ponto P1, obteve-se um IQA classificado como ruim. A variável que mais influenciou esse resultado foi a DBO, com  $25 \text{ mg L}^{-1}$ , o mais alto entre os três pontos. É possível que esse ponto estivesse com DBO elevada por ser um trecho com menor velocidade da água, quando comparado aos demais pontos, e também por não possuir pedras ou curvas para aumentar a oxigenação da água e, conseqüentemente, a sua capacidade de autodepuração. Outro fator que afetou significativamente o resultado neste ponto foi a alta concentração de sólidos totais, devido ao assoreamento do arroio.

O ponto P2 também foi classificado como ruim, de acordo com o IQA. Percebe-se neste ponto o resultado é um pouco melhor em relação ao P1. É possível atribuir essa diferença à DBO, com concentração de  $12 \text{ mg L}^{-1}$ , a qual ainda se encontra acima do limite estabelecido pela legislação. Entretanto, o resultado para coliformes termotolerantes foi mais alto do que no ponto anterior: 4.300 NMP/100 mL em comparação com 920 NMP/100 mL para P1. Esse ponto foi escolhido por ser próximo à captação de água para abastecimento público da parte norte da cidade. Mediante a isso, e visando a saúde da população, o resultado para coliformes termotolerantes é um caso a ser estudado com maior profundidade.

Para o ponto P3, observa-se o resultado mais crítico, sendo classificado como péssimo.

Possivelmente isso ocorre devido a elevada concentração de coliformes termotolerantes (140.000 NMP/100 mL) e a elevada DBO (21 mg L<sup>-1</sup>) encontradas. Vale lembrar que o ponto localiza-se após receber grande parte da carga poluidora do centro urbano.

De modo geral, é visível uma piora da qualidade da água do Arroio Itaquirinchim à medida que o mesmo atravessa o centro urbano, reafirmando a influência urbana sobre os recursos hídricos.

### 5.2.2 Índice de Estado Trófico

Com valores entre 18,07 a 18,76 nos três pontos de análise, calculados a partir da Equação (7), o IET foi classificado como oligotrófico. Esse fator indica um corpo hídrico limpo, sem excesso de nutrientes, supondo o correto uso do mesmo (ANA, 2016). A região em que o rio está inserido conta com grande número de áreas agricultáveis, entretanto o fósforo, principal nutriente para a determinação do IET, está em concentrações baixíssimas, respeitando os limites do CONAMA 357/05, não havendo excesso do nutriente fósforo no rio.

Na Tabela 8 são apresentados os resultados para cada ponto e expressados os limites permitidos pela Resolução CONAMA 357/05.

Tabela 8 – Concentração de Fósforo Total nos pontos amostrais em comparação com a legislação.

Ponto	Fósforo Total (mg L <sup>-1</sup> )	Limite de Fósforo Total para água doce, Classe 2 (mg L <sup>-1</sup> )
P1	0,0007	0,1
P2	0,00072	0,1
P3	0,0008	0,1

Fonte: elaborado pelo autor.

### 5.2.3 Índice de Balneabilidade

A partir dos resultados obtidos das análises de coliformes termotolerantes em cinco semanas, verificou-se a presença dos referidos microorganismos em 100% das amostras.

A água no ponto P1, analisando de acordo com a Resolução CONAMA 274/00, é 80% do tempo satisfatória para balneabilidade. Isso indica que, apesar de poder ocorrer o contato primário, ainda há presença de coliformes termotolerantes em concentrações altas. Nesse ponto, em quatro semanas obteve-se os mesmos resultados de 920 NMP/100 mL. Porém, na terceira semana obteve-se 9300 NMP/100 mL, resultado muito superior a 1000 NMP/100 mL,

estabelecido pela legislação. Possivelmente, esse resultado pode ter sido influenciado pela precipitação, onde pode ocorrer o carreamento de poluentes, como matéria orgânica, para o manancial.

Os resultados obtidos para o ponto P2 variaram de 93 a 24000 NMP/100 mL, todavia, a média resultou em 4300 NMP/100 mL. Apenas em duas semanas foram observados valores conforme a legislação. De tal modo, não foi obtido valores inferiores a 1000 NMP/100 mL em 80% do tempo, caracterizando esse ponto amostral como impróprio para recreação de contato primário.

Em relação ao ponto P3, se obteve valores em desconformidade com a legislação nas análises das cinco semanas, caracterizando o local como impróprio para recreação de contato primário. A menor concentração de coliformes termotolerantes foi 24000 NMP/100 mL. Já a maior concentração foi 460000 NMP/100 mL. Mais uma vez é perceptível a influência antrópica do município sobre a qualidade do rio. Acredita-se que esse resultado seja devido a lançamentos clandestinos de efluentes domésticos no corpo hídrico.

Na Tabela 9, são apresentados os resultados de coliformes termotolerantes para cada ponto, nas análises.

Tabela 9 – Concentração de coliformes termotolerantes em cada ponto, por semana.

<b>Período</b>	<b>P1 (NMP/100 mL)</b>	<b>P2 (NMP/100 mL)</b>	<b>P3 (NMP/100 mL)</b>
Semana 1	920	4.300	150.000
Semana 2	920	24.000	140.000
Semana 3	9.300	93	460.000
Semana 4	920	920	46.000
Semana 5	920	9.300	24.000
Média	920	4.300	140.000

Fonte: elaborado pelo autor.

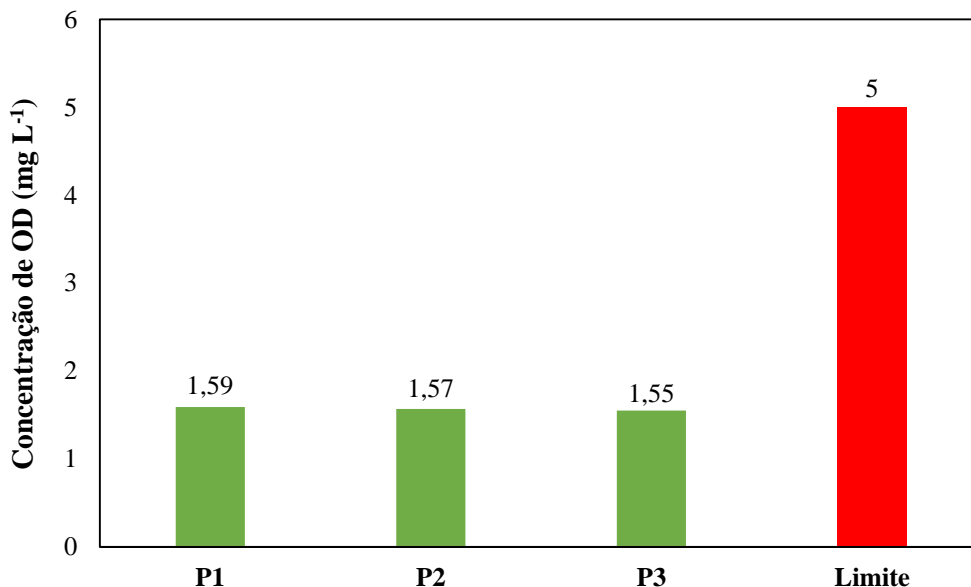
#### **5.2.4 Análise dos parâmetros de qualidade em comparação com a Legislação**

Os parâmetros que ficaram acima do limite permitido pela CONAMA 357/05 para rios de água doce, Classe 2, foram: oxigênio dissolvido, nitrogênio total, alumínio, enxofre, cloro e ferro.

Considerando o limite mínimo de 5 mg L<sup>-1</sup> de oxigênio dissolvido (OD) para rios de água doce e Classe 2, foram encontrados valores de 1,59, 1,57 e 1,55 para P1, P2 e P3, respectivamente (Figura 6). Como o corpo hídrico necessita de oxigênio para a autodepuração, acredita-se que está sendo consumido muito oxigênio para degradar a matéria orgânica

presente.

Figura 6 – Concentração de Oxigênio Dissolvido em comparação com a CONAMA 357/05.



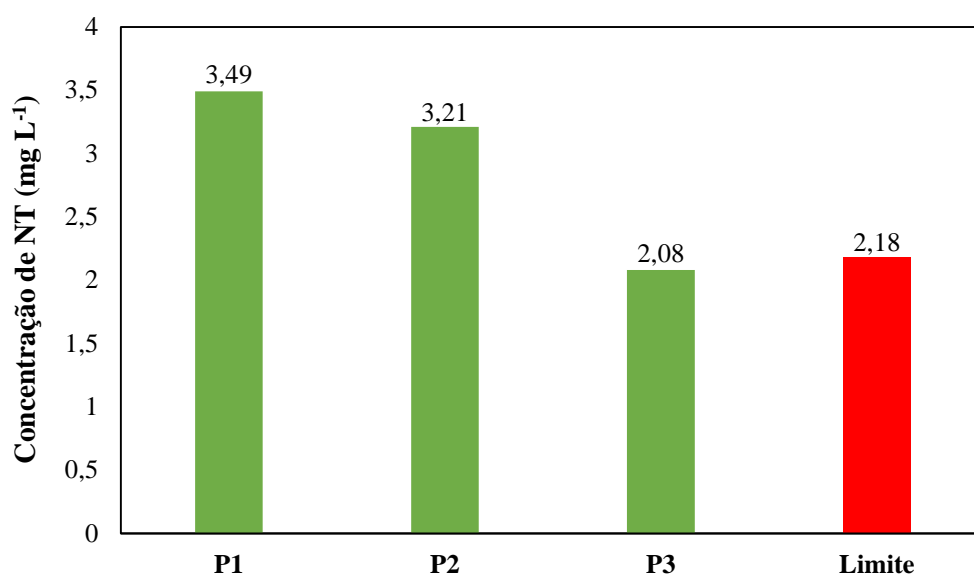
Fonte: elaborado pelo autor.

Como observa-se na Figura 7, para o nitrogênio total foi determinada a concentração de 3,49 mg L<sup>-1</sup> no ponto P1 e 3,21 mg L<sup>-1</sup> no ponto P2, ambas superiores ao limite de 2,18 mg L<sup>-1</sup> estabelecido pela legislação. No terceiro ponto (P3), a concentração encontrou-se abaixo do limite máximo permitido. O nitrogênio pode ser proveniente de efluentes domésticos e industriais, porém, como o P1 está próximo a áreas rurais, é possível que o nitrogênio em excesso tenha como fonte os fertilizantes agrícolas. É importante considerar também que as análises foram realizadas em período de precipitação, onde ocorre o carreamento de poluentes por fontes difusas. A provável redução da concentração de Nitrogênio Total, considerando de P1 à P3, pode ser atribuída a capacidade de autodepuração do corpo hídrico.

Apenas no ponto P3 foi encontrado valor elevado de alumínio, 0,56 mg L<sup>-1</sup>, superior ao estabelecido pela legislação (0,1 mg L<sup>-1</sup>) (Figura 8). Nos demais pontos, a concentração do alumínio está abaixo do limite de detenção do equipamento (TXRF), sugerindo que nestes pontos as concentrações podem estar inferiores ao limite estabelecido pelo CONAMA 357/05. Deve-se observar que essa elevada concentração só foi encontrada após a influência da cidade no corpo hídrico. Sendo assim, é plausível afirmar que o alumínio, presente em estações de tratamento de água de abastecimento na forma de sulfato de alumínio, permaneça no ciclo após a descarga de efluentes no corpo hídrico ou através do descarte do lodo da Estação de Tratamento de Água (ETA). Reis et al. (2007) estudaram os impactos do descarte de lodos de

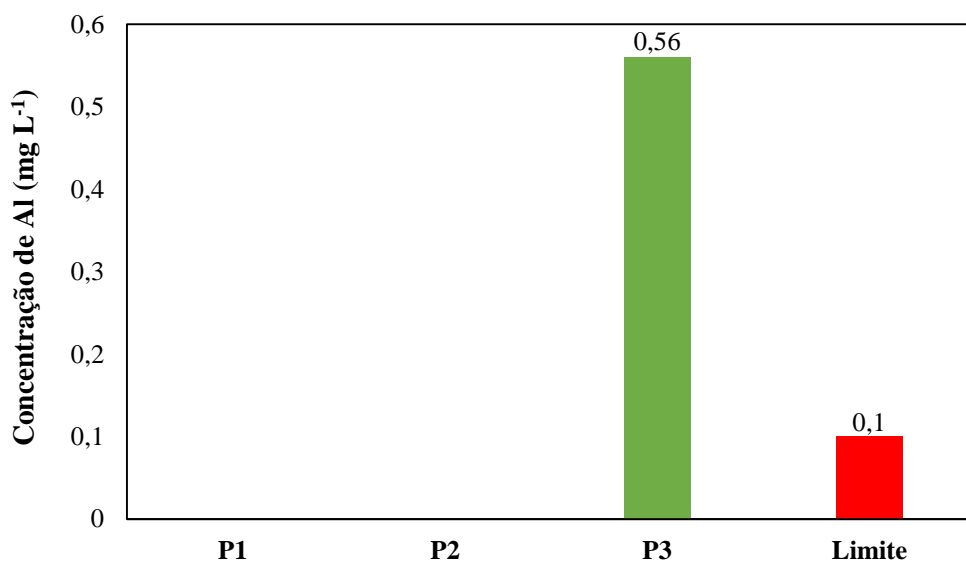
ETA em águas superficiais no Estado de São Paulo, verificado que o residual da concentração de alumínio não causa impacto significativo imediato, porém, a longo prazo ocorre o depósito desse componente nos corpos hídricos, alterando as suas características químicas.

Figura 7 – Concentração de Nitrogênio Total em comparação com a CONAMA 357/05.



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 8 – Concentração de Alumínio em comparação com a CONAMA 357/05.

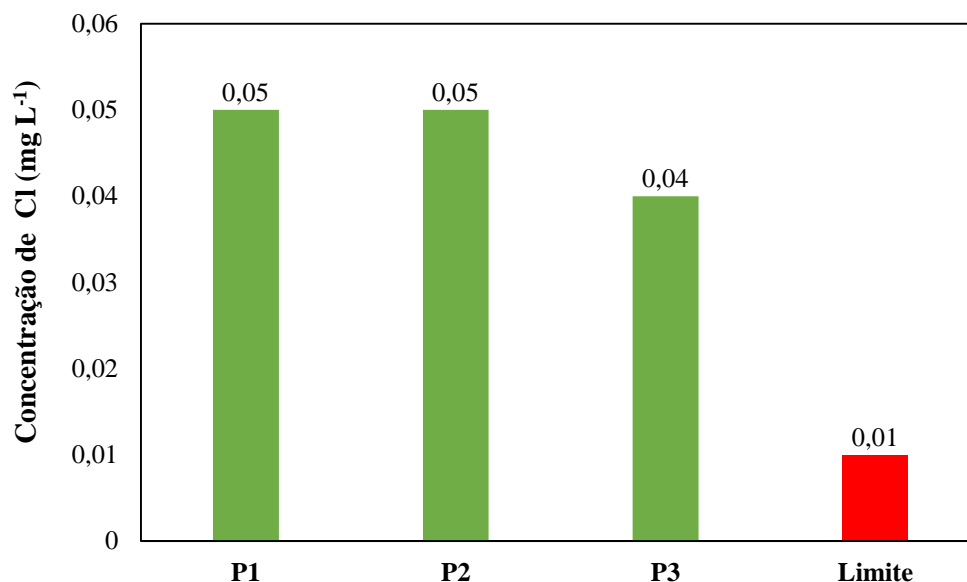


Fonte: elaborado pelo autor.

Ainda, possivelmente devido às ETA's, foi detectado um valor de cloro superior ao limite nos três pontos de análise, com concentrações de 0,047, 0,048 e 0,042 mg L<sup>-1</sup>, nos pontos

P1, P2 e P3, respectivamente. Para esse parâmetro, a legislação permite um máximo de 0,01 mg L<sup>-1</sup>. Na Figura 9 é apresentada a comparação para o cloro.

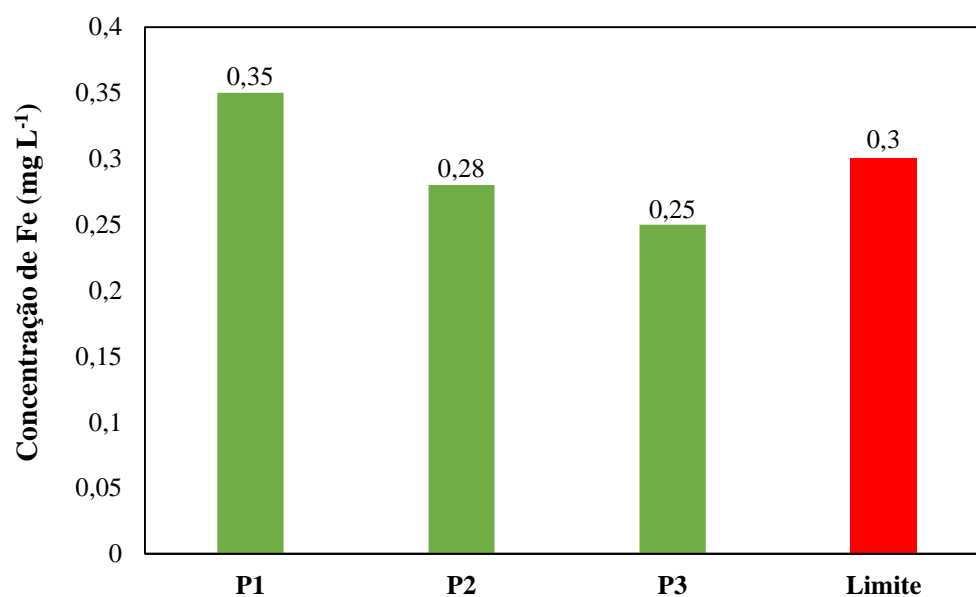
Figura 9 – Concentração de Cloro em comparação com a CONAMA 357/05.



Fonte: elaborado pelo autor.

Conforme pode ser observado na Figura 10, apenas no ponto P1 foram encontradas concentrações acima do limite máximo para ferro, porém não muito significante. É plausível que o ferro seja proveniente do próprio solo.

Figura 10 – Concentração de Ferro em comparação com a CONAMA 357/05.



Fonte: elaborado pelo autor.

## CONCLUSÃO

O presente trabalho caracterizou a microbacia do Arroio Itaquarinchim como sendo de ordem 3, com um Kc e Kf iguais a 1,82 e 0,10823, respectivamente, demonstrando a não tendência a enchentes. A microbacia possui capacidade de drenagem regular, sendo Dd igual a 1,19 km/km<sup>2</sup>. A extensão média do escoamento superficial apresenta valor de 0,65 Km, e o curso d'água principal apresenta baixa sinuosidade.

O Arroio Itaquarinchim foi classificado de acordo com o Índice de Qualidade das Águas em pontos estratégicos, sendo possível concluir que o arroio alcança a região urbana de Santo Ângelo/RS já com qualidade ruim, de acordo com os valores determinados nos pontos P1 e P2. Após o rio percorrer a cidade, percebe-se um agravamento na situação de sua qualidade devido à influência do meio urbano sobre ele. Deste modo, o terceiro ponto (P3) foi classificado como péssimo pelo IQA.

Determinando o Índice de Estado Trófico pela concentração de Fósforo Total, foi possível avaliar que o rio apresenta concentrações baixíssimas desse nutriente, sendo classificado como oligotrófico.

Através do Índice de Balneabilidade, avaliou-se que os pontos P2 e P3 estão impróprios para recreação de contato primário, estando o ponto P3 com concentrações elevadíssimas de coliformes termotolerantes. Já no ponto P1, a concentração desses microorganismos se encontra em uma faixa satisfatória para contato primário, porém perto do limite permitido pela legislação.

De modo geral, o Arroio Itaquarinchim apresenta risco à saúde da população, sendo um veículo para transmissão de doenças. Para melhorar esse quadro, é importante a conscientização da população quanto ao destino correto do esgotamento sanitário, bem como dos resíduos sólidos urbanos. Dessa forma, investimentos em educação ambiental e no sistema sanitário do município de Santo Ângelo/RS surgem como importantes perspectivas na busca da proteção da saúde e do bem-estar da população.

## REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Águas – ANA. **Indicadores de Qualidade:** Índice de qualidade das águas (IQA). Disponível em: <<http://portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx>>. Acesso em: 20/03/2016.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater.** Washington: APHA, 21ª. Ed., 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 9898. **Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores.** Rio de Janeiro, 1987.

BARRELLA, W. et al. As relações entre as matas ciliares os rios e os peixes. In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO; H.F. (Ed.). **Matas ciliares:** conservação e recuperação. 2.ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001. 320p.

BRASIL. **Lei Nº 9433**, de 8 de janeiro de 1997.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA. **Resolução Nº 357**, 2005.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA. **Resolução Nº 430**, 2011.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria 2914** de 12 de dezembro de 2011. Brasília, DF, 2011.

CETESB. **Relatório de Qualidade das Águas Superficiais do Estado de São Paulo.** São Paulo: CETESB, 2015. Disponível em: < <http://aguasinteriores.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/32/2013/11/Ap%C3%AAndice-C-%C3%8Dndices-de-Qualidade-das-%C3%81guas-2.pdf> >. Acesso em: 02 de nov. 2016.

CETESB. **Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo.** São Paulo: CETESB, 2009. Disponível em: < <http://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/32/2013/11/variaveis.pdf> >. Acesso em: 02 de nov. 2016.

D'ÁGUILA, P. S.; ROQUE, O. C. da C.; MIRANDA, C. A. S.; FERREIRA, A. P. **Avaliação da qualidade de água para abastecimento público do município de Nova Iguaçu.** Rio de Janeiro, 2000.

ESPINOZA-QUINONES, F. R.; MÓDENES, A. N.; DE PAULI, A. R.; PALÁCIO, S. M. Analysis of Trace Elements in Groundwater Using ICP-OES and TXRF Techniques and Its Compliance with Brazilian Protection Standards. **Water Air Soil Pollut**, p. 226-232. 2015.



GONÇALVES, T. D.; CAMPOS, J. E. G.; BATISTA, G. T.; DINIZ, H. N.; TARGA, M. S. **Metodologia para elaboração de mapas hidrogeológicos: estudo de caso da bacia hidrográfica do rio da Palma, DF, Brasil.** Ambiente & Água, Taubaté, v. 2, n. 2, p. 47-68, 2007.

HASENACK, H.; WEBER, E. **Base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul** – escala 1:50.000. UFRGS – IB- Centro de ecologia, Porto Alegre, 2010.

HOU, W.; SUN, S.; WANG, M.; LI, X.; ZHANG, N.; XIN, X.; SUN, L.; LI, W.; JIA, R. **Assessing water quality of five typical reservoirs in lower reaches of Yellow River, China: Water Quality Index Method.** Ecological Indicators. Editora Elsevier, 2015. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X15005166>>. Acesso em: 30/03/2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa nacional de saneamento básico: 2000.** Rio de Janeiro: IBGE/Departamento de Cartografia, 2002.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2010.** Disponível em: < [http://ibge.gov.br/cidadesat/painel/populacao.php?lang=\\_PT&codmun=431750&search=rio-grande-do-sul|santo-%C3%82ngelo|infograficos:-evolucao-populacional-e-piramide-etaria](http://ibge.gov.br/cidadesat/painel/populacao.php?lang=_PT&codmun=431750&search=rio-grande-do-sul|santo-%C3%82ngelo|infograficos:-evolucao-populacional-e-piramide-etaria)>. Acesso em: 30/03/2016.

JHA, D. K.; DEVI, M. P.; VIDYALAKSHMI R.; BRINDHA, B.; VINITHKUMAR, N. V.; KIRUBAGARAN, R. **Water quality assessment using water quality index and geographical information system methods in the coastal waters of Andaman Sea, India.** Editora Elsevier, 2015.

LIMA, W.P.; ZAKIA M.J.B. Hidrologia de matas ciliares. In: RODRIGUES; R.R.; LEITÃO FILHO; H.F. (Ed.) **Matas ciliares: conservação e recuperação.** 2.ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2000. p.33-43.

LIMA, E. B. N. R. **Modelação integrada para gestão da qualidade da água na bacia do rio Cuiabá.** 2001. 184p. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.

MEDEIROS, S. R. M de; CARVALHO, R. G. de; SOUZA, L. di; BARBOSA, A. H. S. Índice de qualidade das águas e balneabilidade no Riacho da Bica, Portalegre, RN, Brasil. **Ambiente & Água.** vol. 11 n. 3 Taubaté, 2016. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/ambiagua/v11n3/1980-993X-ambiagua-11-03-00711.pdf>>. Acesso em: 02/11/16.

PARANÁ. Secretaria Do Meio Ambiente E Recursos Hídricos – SUDERHSA. **Sub-bacias do Alto Iguaçu.** Paraná, 2000. Disponível em:

<<http://www.aguasparana.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=90>>. Acesso em: 09/05/2016.

REIS, E. L. T.; COTRIM, M.; RODRIGUES, C.; PIRES, M. A. F.; BELTRAME FILHO, O.; CUTOLO, S. A.; ROCHA, S. M. **Identificação da Influência do Descarte de Lodo de Estações de Tratamento de Água**. Química Nova, v. 30, p. 865/11678-7064-872, 2007.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria Estadual Do Meio Ambiente – SEMA. **Manual de outorga de direito do uso da água**. Rio Grande do Sul, 2010. Disponível em: <<http://www.sema.rs.gov.br/upload/Manual%20de%20Outorga%20de%20C3%81gua.pdf>>. Acesso em: 09/05/2016.

RIO GRANDE DO SUL. Departamento de Recursos Hídricos da Secretaria de Estado do Meio Ambiente – DRH/SEMA. **Processo de Planejamento dos usos da água na Bacia Hidrográfica do Rio Ijuí**: Enquadramento. Porto Alegre, 2012.

SIMÕES, F. dos S.; MOREIRA, A. B.; BISINOTI, M. C.; GIMENEZ, S. M. N.; SANTOS YABE, M. J. **Water quality index as a simple indicator of aquaculture effects on aquatic bodies**. Ecological Indicators. Amsterdam: Elsevier B.V., v. 8, n. 5, p. 476-484, 2008. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/22248>>. Acesso em: 26/05/2016.

TEODORO, V. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Uniara**, Araraquara, n.20, p. 137-156, 2007.

TUCCI, C. E. M.; HESPAÑOL, I.; NETTO, O. de M. C. **A gestão da água no Brasil**: uma primeira avaliação da situação atual e das perspectivas para 2025. Brasília, GWP, 2000. p.165, 2000.

TUCCI, C. E. M.; HESPAÑOL, I.; NETTO, O. de M. C. **Cenários da gestão da água no Brasil**: uma contribuição para a “Visão Mundial da Água”. Bahia Análise & Dados, Salvador, v. 13, n. ESPECIAL, p. 357-370, 2003.

TUNDISI, J. G.; ATSUMURA-TUNDISI, T.; PARESCHI, D. C.; LUZIA, A. P.; HAELING, P. H. V.; FROLLINI, E. H. **A bacia hidrográfica do Tietê/Jacaré**: estudo de caso em pesquisa e gerenciamento. São Paulo, 2008.

WOLSKI, M. S. **Caracterização física, através de estudos morfométricos, da microbacia hidrográfica do arroio São João do município de Santo Ângelo (RS)**. 2003. 40 p. TCC (Bacharelado em Geografia) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul - UNIJUÍ, Ijuí, 2003.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill, 1975. 245p.